



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I532071 B

(45)公告日：中華民國 105 (2016) 年 05 月 01 日

(21)申請案號：101114778

(22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 04 月 25 日

(51)Int. Cl. : **H01J37/32 (2006.01)**

(30)優先權：2011/05/03 美國

13/099,432

(71)申請人：瓦里安半導體設備公司(美國) VARIAN SEMICONDUCTOR EQUIPMENT ASSOCIATES, INC. (US)

美國

(72)發明人：葛特 盧多維克 GODET, LUDOVIC (FR)；里維特 克里斯多夫 J LEAVITT, CHRISTOPHER J. (US)；歐爾森 約瑟 C OLSON, JOSEPH C. (US)；馬汀 派崔克 M MARTIN, PATRICK M. (US)

(74)代理人：詹銘文

(56)參考文獻：

US 7767977B1

US 2008/0182419A1

Kuo, "Plasma Swelling of Photoresist", Japanese Journal of Applied Physics, Volume 32, Part 2, No. 1A/B, 15 January 1993, pages L126-L128

審查人員：李科

申請專利範圍項數：16 項 圖式數：6 共 35 頁

(54)名稱

控制光阻特徵之臨界尺寸和粗糙度的方法與系統

METHOD AND SYSTEM FOR CONTROLLING CRITICAL DIMENSION AND ROUGHNESS IN RESIST FEATURES

(57)摘要

本發明關於一種用於控制光阻特徵中的臨界尺寸和粗糙度的方法和系統，以及一種處理具有初始線粗糙度和初始臨界尺寸的光阻凸紋特徵的方法。所述方法可包含在第一暴露中以第一角範圍和第一劑量率朝向光阻引導離子，所述第一劑量率用以將初始線粗糙度減小到第二線粗糙度。所述方法還可包含在第二暴露中以大於第一劑量率的第二離子劑量率朝向光阻凸紋特徵引導離子，其中所述第二離子劑量率用以使光阻凸紋特徵膨脹。

A method of treating a photoresist relief feature having an initial line roughness and an initial critical dimension. The method may include directing ions toward the photoresist in a first exposure at a first angular range and first dose rate and a that is configured to reduce the initial line roughness to a second line roughness. The method may also include directing ions toward the photoresist relief feature in a second exposure at a second ion dose rate greater than the first dose rate, wherein the second ion dose rate is configured to swell the photoresist relief feature.

指定代表圖：

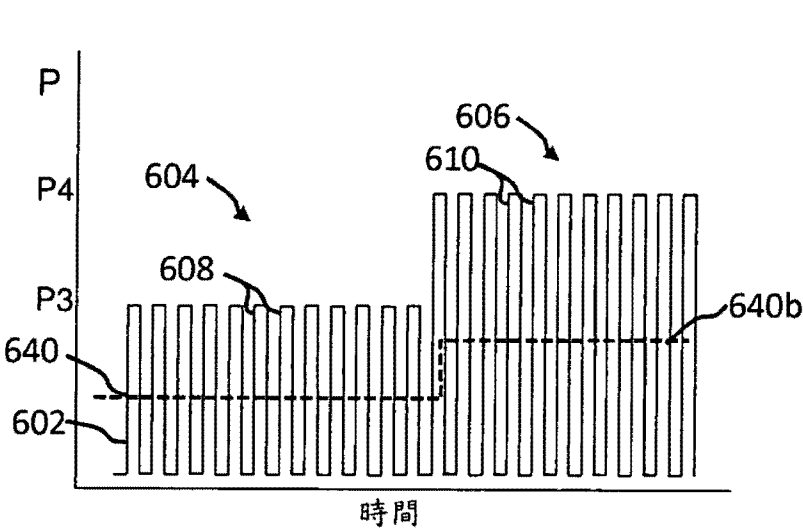


圖 6a

符號簡單說明：
602、640 . . . 曲線
604、606 . . . 部分
608、610 . . . 脈衝
640b . . . 離子劑量
率

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：10114778

※申請日：107.07.15

※IPC 分類：H01J 37/32 (2006.01)

一、發明名稱：

控制光阻特徵之臨界尺寸和粗糙度的方法與系統

METHOD AND SYSTEM FOR CONTROLLING
CRITICAL DIMENSION AND ROUGHNESS IN RESIST
FEATURES

二、中文發明摘要：

本發明關於一種用於控制光阻特徵中的臨界尺寸和粗糙度的方法和系統，以及一種處理具有初始線粗糙度和初始臨界尺寸的光阻凸紋特徵的方法。所述方法可包含在第一暴露中以第一角範圍和第一劑量率朝向光阻引導離子，所述第一劑量率用以將初始線粗糙度減小到第二線粗糙度。所述方法還可包含在第二暴露中以大於第一劑量率的第二離子劑量率朝向光阻凸紋特徵引導離子，其中所述第二離子劑量率用以使光阻凸紋特徵膨脹。

三、英文發明摘要：

A method of treating a photoresist relief feature having an initial line roughness and an initial critical dimension. The method may include directing ions toward the

photoresist in a first exposure at a first angular range and first dose rate and a that is configured to reduce the initial line roughness to a second line roughness. The method may also include directing ions toward the photoresist relief feature in a second exposure at a second ion dose rate greater than the first dose rate, wherein the second ion dose rate is configured to swell the photoresist relief feature.

四、指定代表圖：

(一) 本案之指定代表圖：圖 6a

(二) 本代表圖之元件符號簡單說明：

602、640：曲線

604、606：部分

608、610：脈衝

640b：離子劑量率

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明的實施例涉及裝置製造的領域。更特定來說，本發明涉及用於控制圖案化光阻特徵（patterned resist feature）中的粗糙度（roughness）和臨界尺寸（critical dimension）的方法、系統和結構。

【先前技術】

製造電子裝置時常常會用到微影（optical lithography）技術。這種製程可用來將基底圖案化，從而可根據圖案，在基底上形成電路。參見圖 1a 到圖 1e，圖中繪示了微影製程的簡化說明。大體上，基底 112 塗覆有可光固化的聚合物光阻 114，如圖 1a 所示。隨後，將具有所需孔口圖案（aperture pattern）的遮罩（mask）142 安置於基底 112 與光源（未圖示）之間。來自光源的光 10 經由遮罩 142 的孔口照射到基底 112 上，且透射經過遮罩的孔口的光（或圖案的圖像）投影到光阻 114 上。光阻的一部分 114a 暴露於光 10 且固化，而光阻的其餘部分 114b 保持未固化，如圖 1b 中說明。因此，遮罩的孔口的圖像由光阻的固化部分 114a 形成。

如圖 1c 說明，光阻的未固化部分 114b 剝落，且對應於遮罩的孔口圖案的三維（3D）光阻凸紋特徵 114a 可保留在基底 112 上。隨後，蝕刻基底，且可形成對應於遮罩的孔口圖案的負圖像（negative image）的溝槽（trench）116（圖 1d）。在移除剩餘光阻 114a 之後，形成經圖案化

基底 112，如圖 1e 中說明。如果在溝槽上沉積金屬層，那麼可在基底 112 上形成具有所需圖案的電路。

雖然微影是具有高處理量的有效製程，但所述製程也有缺點。一個缺點可包含線寬粗糙度（line width roughness, LWR）或線邊緣粗糙度（LER）。如所屬領域中已知，LWR 是在光阻的未固化部分 114b 從基底剝落之後形成的光阻凸紋特徵的寬度的過量變化。如果變化發生在光阻凸紋或特徵的側表面上，那麼所述變化稱為 LER。由於 LWR 或 LER 所致的粗糙度或變化可為不利的，因為所述變化可能會在蝕刻期間轉移到溝槽上且最終轉移到電路。所述變化隨著光阻凸紋或溝槽的特徵大小的減小會變得更加顯著。對於 32 nm 裝置，已觀察到 4 nm 或更大的變化。因為經圖案化光阻特徵的幾何形狀（包含例如 LWR 和 LER 等線粗糙度作用）在下伏層（underlying layer）的圖案化期間從光阻層轉移到裝置的下伏永久層，所以 LWR 和 LER 可限制針對低於約 100 nm 的尺寸形成具有可接受品質的裝置的能力。此些變化可導致電路不均勻，最終導致裝置劣化或故障。另外，取決於設計準則，短程、中程或長程粗糙度中的一者可能對裝置性能影響較多。

已嘗試若干方法來解決 LWR 和 LER 效應（LWR、LER 中的任一者或 LWR 和 LER 兩者的組合可在下文統稱為“線粗糙度”）。可能會減小線粗糙度的一種技術是離子束平滑（ion beam smoothing），其中朝向經圖案化光阻凸紋特徵，在某一範圍的角度上引導離子。此技術已成功

地修改了臨界尺寸小於約 100 nm 的窄光阻凸紋特徵中的線粗糙度。在使用在經圖案化光阻上在某一範圍的角度上引導的離子的典型離子束平滑製程中，LWR/LER 可減小高達約 50%。然而，在執行離子束平滑製程之後，臨界尺寸(CD)也可能減小高達約 10 nm，根據所需的裝置特性，這種減小程度過大，可能無法接受。

我們觀察到，如果增加在離子束平滑過程期間使用的電漿源的功率，則可減少或消除 CD 減小，但也觀察到增加功率在減小線粗糙度方面成效不大。[舉例來說，在 300 W 下執行離子束平滑過程可導致 LWR 減小~25%，但也可能使 CD 減小~20%。在 500 W 功率下，CD 的損失可接近零，然而，LWR 的減小可僅為約 15%，這可能無法滿足設計者規格。]因此，當今的離子束平滑製程呈現了改善的粗糙度與臨界尺寸損失之間的折中。鑒於上述內容將瞭解，需要針對需要極小特徵大小（例如，亞 100 nm CD 裝置）的技術改善光阻處理技術。

【發明內容】

本發明的實施例是針對改善圖案化基底的方法和系統，尤其通過改善光阻凸紋特徵的粗糙度且控制所述光阻凸紋特徵中的臨界尺寸來改善圖案化基底的方法和系統，所述光阻凸紋特徵是用以圖案化下伏基底。在一個實施例中，一種處理具有初始線粗糙度和初始臨界尺寸的光阻凸紋特徵的方法包含在第一暴露中以第一角範圍和第一劑量率朝向光阻引導離子，所述第一劑量率用以將初始線粗糙

度減小到第二線粗糙度。所述方法進一步包含在第二暴露中以大於第一劑量率的第二離子劑量率朝向光阻凸紋特徵引導離子，所述第二離子劑量率用以使光阻凸紋特徵膨脹。

在另一實施例中，一種用於處理安置於基底上的光阻凸紋特徵的系統包含：電漿源，其用以產生具有電漿鞘的電漿；以及提取板，其安置於所述電漿與所述基底之間，且用以在一角範圍上朝向所述基底引導離子。所述系統進一步包含控制器，其可用以改變基底對電漿的暴露條件，其中在第一暴露期間以第一離子劑量率和第一角展度朝向光阻引導離子，其中在第二暴露期間以大於所述第一劑量率的第二離子劑量率朝向光阻引導離子。所述第一暴露可經配置以將初始線粗糙度減小到第二線邊緣粗糙度，且所述第二暴露使所述光阻凸紋特徵膨脹，其中在所述第一暴露和第二暴露之後，所述光阻凸紋特徵的第三邊緣粗糙度小於初始線粗糙度，且第三臨界尺寸大於第二臨界尺寸。

【實施方式】

現在將參看附圖在下文更全面地描述本發明，附圖中繪示本發明的優選實施例。然而，本發明可以許多不同的形式來體現，且不應解釋為限於本文所陳述的實施例。實際上，提供這些實施例以使得本發明將為詳盡和完整的，且將把本發明的範圍完整地傳達給所屬領域的技術人員。在圖中，相同標號始終指代相同元件。

為瞭解決與上文提到的方法相關聯的缺陷，介紹用於圖案化基底的新穎且具發明性的技術和系統。特定來說，

本發明著重於與離子植入製程相關的技術，以改善光阻凸紋特徵的品質，例如改善線粗糙度和控制光阻凸紋特徵中的臨界尺寸（CD）。本文揭示的製程可結合用於形成窄特徵的製程來使用，包含併入間距（pitch）極小的陣列中的特徵，例如小於約 250 nm 的間距。此些製程包含常規的 DUV 微影、雙圖案化微影、自對準雙圖案化微影，以及其它微影製程。然而，所屬領域的技術人員將認識到，本文揭示的技術不限於結合任一特定微影或任一範圍的光阻凸紋特徵尺寸來使用。

本發明的一些實施例採用電漿類離子植入製程來處理具有極小尺寸的光阻特徵。參見圖 2a，繪示根據本發明一個實施例的用於處理光阻凸紋特徵的基底處理系統 300。圖 2b 說明處理光阻的粒子的角分佈（angular distribution）的一個實例。圖式不一定按比例繪製。

如圖 2a 中說明，系統 300 可包含製程腔室（process chamber）302，其中基底固持器（holder）304 支撐基底 112。基底 112 可為基於金屬、半導體或絕緣材料的基底。在一些實施例中，基底固持器可具備主動冷卻裝置，其使用耦合到例如流體源（未圖示）等冷卻源的冷卻線 336。經圖案化光阻（圖 2a 中未圖示）安置於基底上，其可為光阻在未固化部分剝落之後保留在基底上的固化部分。

系統 300 還可包含用於產生電漿 306 的電漿源，其包含在製程腔室 302 中。在各種實施例中，電漿源可為原位（in situ）或遠程（remote）的、DC 或 RF 電漿源、電感

性耦合的電漿源、電容性耦合的電漿源、螺旋波 (helicon) 源、微波源或任一其它類型的電漿源。

如圖 2a 中描繪，在採用 RF 電漿源的一些實施例中，RF 電源 330 提供 RF 信號，所述 RF 信號可驅動天線 332 以產生電漿 306。RF 電源 330 可改變供應到天線 332 的所產生信號的振幅，且進而改變電漿 306 內的電漿功率。如下文所述，這可用來控制朝向基底 112 引導的離子劑量率 (dose rate)。

一個或一個以上電漿鞘 (plasma sheath) 修改器 312 可安置於電漿 306 與基底 112 之間。在本實施例中，電漿鞘修改器 312 可包括一對修改器零件 312a 和 312b，其通過間隙 “y” 彼此間隔開。在另一實施例中，電漿鞘修改器 312 可包括單個修改器零件。但在其它實施例中，電漿鞘修改器 312 可包括彼此間隔開而界定間隙的三個或三個以上修改器零件。

電漿鞘修改器 312 能夠調整電漿鞘的電場。在一些實施例中，電漿鞘修改器 312 可帶正電或帶負電。電漿鞘修改器 312 可由電絕緣 (例如，玻璃) 或導電 (例如，金屬) 材料或其組合製成。如果系統 300 包含一個以上修改器零件，那麼所述零件可由相同或不同材料製成。舉例來說，系統 300 可包含電漿鞘修改器 312，且電漿鞘修改器 312 可包括兩個修改器零件 312a 和 312b。修改器零件 312a 和 312b 可由相同或不同材料製成。

如果電漿鞘修改器 312 包括兩個或兩個以上零件，那

麼所述零件可安置於同一平面或不同平面上。舉例來說，處理系統 300 中包含的電漿鞘修改器 312 可包括兩個修改器零件 312a 和 312b。零件 312a 和 312b 可安置於同一平面中，使得基底 112 與每一修改器零件之間的垂直間距“z”相同。在另一實施例中，電漿鞘修改器 312 可包括兩個修改器零件 312a 和 312b，且每一零件 312a 和 312b 可通過不同的垂直間距“z”與基底 112 間隔開。具有電漿鞘修改器的處理系統的額外描述可參見審查中的第 12/418,120 號美國專利申請案；2009 年 4 月 3 日申請且作為第 7,767,977 號美國專利頒發的第 12/417929 號美國專利申請案；以及審查中的第 12/644103 號美國專利申請案，以上每一者以全文引用方式併入本文。

在操作中，原位或遠程產生的電漿可包含於製程腔室 302 中。電漿 306 可含有若干部份，其包含電子、質子以及原子或分子離子、中子以及所需物質的自由基。如圖 3 中說明，電漿 306 還可包含在外圍附近的電漿鞘 308。在本實施例中，電漿鞘 308 可包括帶正電的離子。如圖中描繪，電漿鞘 308 由殼層與電漿 306 的邊界表示。然而將瞭解，電漿鞘 308 可從電漿 306 的邊緣延伸有限距離，到達電漿 306 周圍的物件的表面，例如，製程腔室 302 的壁，和基底 112 的表面。

電漿鞘 308 或電漿 306 中的離子 310 可朝向基底 112 引導，因為基底 112 由 DC 或 RF 偏壓供應源（未圖示）施以偏壓。施加到基底 112 的偏壓信號（無論是 DC 還是

RF) 可為連續的或脈衝的。

電漿鞘修改器 312 可修改電漿鞘 308 的形狀以便控制離子 310 的入射角分佈。舉例來說，電漿鞘修改器 312 可修改電漿鞘 242 中的電場且修改電漿鞘 308 的形狀。在本實施例中，電漿鞘修改器 312 可將電漿鞘 308 的至少一部分修改為相對於電漿 306 呈凹入形狀的電漿鞘 308b (經修改殼層 308b)，或相對於電漿主體 (bulk plasma) 呈圓頂 (dome) 形狀 (凸出) 的電漿。當基底 112 經偏壓時，朝向基底 112 吸引的離子 310 可以一大範圍的入射角行進經過修改器零件 312a 與 312b 之間的具有寬度 “y” 的間隙 322。在常規的電漿類處理系統中，最靠近基底的電漿鞘平行於基底。當基底經偏壓時，離子在實質上垂直於電漿鞘、因此實質上垂直於基底的路徑中行進。因此，常規電漿處理系統中的離子具有範圍在 -3° 到 $+3^{\circ}$ 之間的入射角。然而在本實施例中，離子 310 的入射角可通過經修改殼層 308b 來修改。如圖 2a 中說明，經修改殼層 308b 相對於基底為多角度的。因此，垂直於經修改殼層 308b 行進的離子 310 可在多個角度中行進。從經修改殼層 308b 的不同部分朝向基底 112 行進的離子 310 可從一大範圍的不同角度離開電漿 306，使得離子 310 因此在基底 112 上具有一大範圍的入射角。如圖 2b 中說明，離子 310 的入射角的範圍可在約 $+60^{\circ}$ 到約 -60° 之間，以相對於垂直方向約 0° 為中心。在一些實施例中，離子 310 的入射角可另外由電漿鞘修改器 312 所產生的電場來修改，且離子 310 的入射角的範圍可通過

控制其它系統參數來調整，如下文論述。

取決於若干因素，包含(但不限於)電漿鞘修改器 312 的配置和性質，可另外修改離子的入射角。此些因素的實例可包含修改器零件 312a 與 312b 之間的水平間距(y)、修改器 312 與基底 112 之間的垂直間距(z)、基底 112 與每一修改器零件 312a 和 312b (未圖示)之間的垂直間距，以及電漿鞘修改器 312 的電性質。也可調整其它電漿製程參數以調整離子的入射角和/或入射角分佈。額外的描述可參見審查中的第 12/418,120 號、第 12/417929 號、第 12/644103 號美國專利申請案，以上申請案中的每一者如上所述以全文引用方式併入本文中。

通過修改電漿鞘 308，可共形地 (conformally) 或各向同性地 (isotropically) 處理具有以不同角度定向的表面的三維結構。參見圖 3，繪示根據本發明一個實施例的用於處理 3D 結構的技術。在本實施例中，所述技術可用以減小 3D 光阻凸紋特徵 114a 中含有的 LER 和 LWR。如上所述，LER 和 LWR 可在微影期間在移除光阻的未固化部分之後獲得的 3D 光阻凸紋特徵 114a 中發生。在本實施例中，光阻凸紋特徵 114a 中含有的 LER 和 LWR 可通過使光阻凸紋特徵暴露於離子 310 來減小。

如圖 3 中說明，具有側表面 114a-1 和頂表面 114a-2 的 3D 光阻凸紋特徵 114a 可安置於基底 112 上。基底 112 和光阻凸紋特徵 114a 安置於含有電漿鞘修改器 312 的電漿處理系統中，且電漿安置於基底 112 附近。隨後，電漿中

的離子 310 可被引導穿過電漿鞘修改器零件 312a 和 312b 之間的間隙，並被引導朝向光阻凸紋特徵 114a 的表面。如圖中說明，可以多個入射角引導離子 310。

在各種實施例中，離子 310 可植入到光阻凸紋特徵 114a 的側表面 114a-1 和頂表面 114a-2 中。雖然可植入各種離子物質，但在一些實施例中可植入氦 (He) 或氬 (Ar) 離子。雖然光阻暴露於離子的持續時間可涵蓋較廣範圍，但在一些實施例中，總暴露時間可從約十分之幾秒變化到幾分鐘。

進行實驗以研究 LWR/LER 和 CD 對根據本發明佈置的電漿處理系統 (PSM 系統) 的影響。如下文中使用，術語 “PSM 系統” 或 “PSM 電漿系統” 指代採用電漿鞘修改器來朝向鄰近於電漿的一部分定位的基底提供廣範圍的離子角分佈的電漿處理系統。結合離子入射角使用的術語 “廣”、“廣範圍” 或 “廣角範圍” 指代總範圍跨越約 5 度或更大的角的集合。電漿鞘修改器用以提供具有廣角範圍分佈的離子劑量的離子暴露，如圖 2b 中說明。電漿鞘修改器可包括具有一個或一個以上孔口的板，其引起經修改電漿鞘 (見元件 308b) 的形成且進而從電漿提取離子，使得離子以一廣角範圍撞擊基底。在一些實施例中，電漿鞘修改器的孔口可具有約 0.1 mm 到 10 mm 的寬度。為了暴露基底的較大區域，可相對於電漿鞘修改器的孔口來掃描基底，通過掃描長度來控制基底的暴露於離子的區的大小。

再次參見圖 3，在一系列單獨實驗中，具有約 40 nm

的標稱 (nominal) CD 的一組光阻線暴露於 4 kV Ar 電漿，其使用對應一系列不同電漿功率位准的示範性提取板 (extraction plate)。當光阻線暴露於功率為 300 W 的電漿時，觀察到約 26% 的 LWR 減小，同時還發現光阻線的 CD 的約 20% 的減小。當光阻線改為暴露於處於 500 W 的電漿功率位准的電漿時，觀察到 CD 的極少 (如果存在) 減小。然而，LWR 的減小僅為約 11%。因此，較高電漿功率的使用可有效地避免不希望的 CD 減小，但在平滑光阻凸紋特徵方面可能較低效。

為了克服減小 LWR 與保留 CD 之間的折中情形，本發明的實施例採用新穎的技術，其中光阻凸紋特徵經受處於第一離子劑量率的一個或一個以上離子暴露，且經受處於高於第一離子劑量率的第二離子劑量率的一個或一個以上暴露。在一些實施例中，暴露可為一次或一次以上掃描，其中相對於含有經圖案化光阻凸紋特徵 114a 的基底，沿著方向 320 掃描電漿鞘修改器 312。因為電漿鞘修改器 312 可為具有經由其提取離子 310 的孔口 322 的板，所以電漿鞘修改器的一些實施例在本文稱為“提取板”。提取板可具有一個或一個以上孔口，其如上所述修改電漿鞘的形狀。在各種實施例中，可相對於提取板的孔口沿著方向 320 掃描基底 112。因此，無論孔口 322 的寬度如何，整個基底或其所需部分 (其可包含許多光阻凸紋特徵 114a) 均可在掃描期間暴露於離子 310。在各種實施例中，電漿 306 可為連續的或脈衝電漿，且基底固持器 304 與電漿 306 之

間的偏壓可為連續的或脈衝的。

根據一些實施例，使用氫電漿和約 750 eV 的離子能量在經圖案化光阻凸紋特徵上執行對提取板的一系列掃描。掃描可作為多設定點 RF 電漿（multi-setpoint RF plasma, MSPRF）製程的一部分來執行，其中電漿的功率設定點可改變。因此，第一暴露可為在經圖案化光阻凸紋特徵上對提取板的一次或一次以上掃描，其中 RF 功率設定於第一位准，且第二暴露可為對提取板的一次或一次以上掃描，其中 RF 功率設定於高於第一位准的第二位准。在一些實施例中，包含一次或一次以上掃描的第一暴露是在相對較低電漿功率下進行。所述相對較低電漿功率導致朝向經圖案化光阻凸紋特徵引導的離子具有相對較低的離子劑量率。在此較低離子劑量率下，在暴露之後可觀察到線 LWR/LER 和 CD 兩者從初始值到相應第二值的減小。隨後，在相對較高電漿功率下進行一次或一次以上掃描，其產生相對較高的離子劑量率。在第二組掃描之後，可觀察到 CD 從第二值增加到第三值。在一組實例中，在此多離子劑量率處理執行之後，LWR/LER 減小高達 50%，而 CD 變化取決於第二暴露中的離子劑量率而在從 -2 nm 到 +5 nm 的範圍內變動。

圖 4a 到圖 4d 以及圖 4e 到圖 4g 描繪經圖案化光阻凸紋特徵的側視橫截面和俯視平面圖，其提供用於處理光阻凸紋特徵的示範性製程的細節。所述製程組合了較低離子劑量率與較高離子劑量率暴露。在圖 4a 和圖 4e 中，具有

初始寬度 (CD) W1 的一組光阻凸紋特徵 402 經受使用第一離子劑量率在第一角範圍上的離子 404 的暴露。離子 404 可影響側壁 406，從而導致側壁粗糙度 (例如 LWR/LER) 的減小。在各種實施例中，離子 404 可由例如系統 300 等系統提供，且離子劑量率可通過調整參數來控制，所述參數包含電漿功率、製程腔室中的壓力、製程腔室中的氣體流量。離子劑量率也可取決於離子能量。根據各種實施例，在暴露於離子 404 之後，離子暴露的光阻凸紋特徵 408 展現較小 CD (W2) 和較少的線粗糙度，如側壁 410 說明。在圖 4c 和圖 4f 描繪的後續暴露中，離子 412 以第二角範圍 (可類似於或不同於第一角範圍) 上以及第二離子劑量率朝向光阻凸紋特徵 408 引導，所述第二離子劑量率高於在離子 404 的暴露中使用的第一離子劑量率。在第二較高離子劑量率下的暴露之後，所得光阻凸紋特徵 414 展現比光阻凸紋特徵 408 的 CD 大的 CD (W3)。在各種實施例中，在離子 412 的暴露期間，離子劑量率和總離子劑量可經修整以將 CD 恢復到所需值。舉例來說，離子劑量率可經修整以將 CD 恢復到原始 CD W1，或可經修整以將 CD 恢復到原始 CD W1 的預定容限內。

在暴露於離子 412 之後，所得光阻凸紋特徵 414 的側壁 416 可保持比在暴露於離子 404 和離子 412 之前的側壁 406 更平滑。

如上所述，在一些實施例中，較低與較高離子劑量率暴露的組合可經設計，使初始 CD W1 與最終 CD W3 之間

彼此匹配。因此，圖 4a 至圖 4d 中描繪的多離子暴露處理的作用可為平滑光阻側壁而不會顯著地改變 CD。

在其它實施例中，離子 412 的劑量率和劑量可經設計以產生大於初始 CD W3 的最終 CD。舉例來說，在微影製程之後，所關注的光阻凸紋特徵的所測得 CD(對應於 W1)可小於所述製程的標稱或目標 CD。因此，在暴露於離子 404 以改善線粗糙度之後，可期望將光阻特徵的 CD 恢復到標稱值。因此，暴露於離子 412 的步驟可經佈置以產生大於 W1 且反映目標 CD 的對應於 W3 的 CD。

在其它實施例中，對離子 404 和 412 的暴露次序可顛倒，使得高離子劑量率暴露在低離子劑量率暴露之前發生。以此方式，初始光阻凸紋特徵 CD W1 可在應用第二較低離子劑量率暴露之前增加到值 W4(未圖示)。在較低離子劑量率暴露之後，可減小線粗糙度，且 CD 可從 W4 減小到 W3，W3 可接近於 W1 或與 W1 相同。然而，在光阻凸紋特徵間距很小的情況下，首先執行低離子劑量率暴露可能較方便，因為具有大於 W1 的寬度 W4 的相鄰光阻凸紋特徵可能會擠在一起，在後續的低離子劑量率暴露期間會阻礙其側壁的部分接收離子通量。

在各種實施例中，如先前所述，可通過改變引導離子的系統的電漿功率來控制離子劑量率，所述系統在某一範圍的角上引導離子朝向經圖案化光阻凸紋特徵。再次參見圖 2a，在 RF 電漿的情況下，可通過改變從 RF 產生器 330 發送到天線 332 的信號振幅來改變電漿功率。電漿功率位

准較高時，電漿中的離子密度可較高，這可提供以較高離子劑量率從電漿 306 提取離子的能力。

圖 5a 描繪示範性電漿功率曲線 502，其中電漿功率在曲線的第一部分 504 上的位准 P1 與電漿功率曲線 502 的第二部分 506 上的位准 P2 之間變化。在各種實施例中，位准 P1 可對應於可初始施加到基底的較低離子劑量率，而位准 P2 對應於可在較低離子劑量率之後施加的較高離子劑量率。還參見圖 3，第一功率位准 P1 可在基底 112 相對於提取板（例如，電漿鞘修改器 312，其朝向光阻凸紋特徵 114a 引導離子）沿著方向 320 的三次連續通過（掃描 1 到掃描 3）的持續時間期間施加。第二功率位准 P2 可在又一組掃描（掃描 4、5）期間施加。將瞭解，掃描的總數目和持續時間以及電漿功率位准 P1 和 P2 可經調整，以修整光阻凸紋特徵 114a 的所需平滑度和最終 CD。如所述，可在將基底暴露於離子的同時，以連續方式施加電漿功率，或者可以脈衝施加電漿功率。

圖 5b 描繪其中一系列高離子劑量率與一系列低離子劑量率掃描交替的另一實施例。在此實施例中，這是通過在連續掃描（掃描 1 到掃描 6）期間在 P1 與 P2 之間交替電漿功率位准來實現。每一掃描可對應於基底相對於提取板的單個掃描。曲線 512 呈現電漿功率曲線，其在部分 514（電漿功率維持於 P1）與部分 516（電漿功率維持於 P2）之間交替。如所說明，可在一次掃描的持續時間中施加單個功率位准。在掃描 1 之後，光阻凸紋特徵的側壁粗糙度

可遞增地改善，且伴隨著 CD 的遞增減小。在掃描 2 之後，由掃描 1 產生的 CD 的遞增損失可部分地或完全地恢復（或增加超過掃描 1 之前的初始值）。在掃描 1 和 2 期間的暴露過程在後續掃描中重複，使得光阻凸紋特徵線粗糙度在一系列步驟（對應於奇數編號的掃描）中減小，所述步驟與其中可通過相對較高離子劑量率來遞增地恢復 CD 的一系列步驟交替。

圖 5b 還描繪根據電漿功率曲線 512 在光阻線的處理期間在各個點處的示範性光阻測量值。在暴露之前的初始線粗糙度和 CD 測量值分別由 LWR1 和 CD1 表示。在功率位准 P1 和 P2 處各包括一次掃描的第一暴露循環之後，LWR 可減小到值 LWR2。CD 可與暴露之前相同，即 CD1。在第二循環之後，LWR 可減小到值 LWR3，而 CD 可再次維持於 CD1。在第三循環之後，LWR 可減小到值 LWR4，而 CD 可再次維持於 CD1。因此，結合電漿鞘修改器施加電漿功率曲線 512 以處理光阻凸紋特徵的作用可為將粗糙度從 LWR1 減小到 LWR4 而不影響 CD。應注意，光阻側壁平滑，例如線粗糙度的減小，也可在掃描 2、掃描 4 和掃描 6 期間發生。

除了改變連續電漿的電漿功率外，還可通過以脈衝方式將功率施加到電漿來控制離子劑量率。可對電漿脈衝中的一部分（例如每 10 個脈衝中的 1 個脈衝）設定高電漿功率以產生第一離子劑量率，其餘部分產生第二較低離子劑量率。在此些情況下，離子劑量率的特徵在於如下文進一

步詳述的平均離子劑量率。

脈衝電漿的使用可提供對最終光阻凸紋特徵線粗糙度和 CD 的另一程度的控制，如下文所述。舉例來說，電漿脈衝可通過調整基線（baseline）製程的電漿脈衝的配方（recipe），來提供按需要修改離子劑量率的靈活性。在一個實例中，使用對脈衝電漿中的每個脈衝施加的 300 W RF 電漿功率設定點的基線製程配方，可產生線粗糙度的目標減小。使用在脈衝電漿的每個脈衝處施加的 500 W RF 電漿功率設定點的配方，可發現使 CD 增加約 10 nm。對於第一組基底，300 W 電漿功率與 500 W 電漿功率製程配方的組合可因此產生光阻凸紋特徵的所需線粗糙度和 CD。

然而可確定，對於另一組基底，在執行 300 W 和 500 W RF 電漿功率暴露之後，光阻凸紋特徵的最終 CD 為 5 nm，這個 CD 過大。因此，可期望更改較高離子劑量率（500 W）過程以減少光阻膨脹。在此情況下，在第二暴露中，可每隔一個脈衝施加高電漿功率設定點（500 W），同時每隔一個脈衝施加較低電漿功率設定點（例如 300 W），這可產生在基線 300 W 電漿功率配方與均勻 500 W 電漿功率配方之間的中間的離子劑量率。此中間的離子劑量率可帶來第二組基底的 CD 的所需增加。

圖 6a 到圖 6c 描繪脈衝電漿處理的替代實施例，其中平均離子劑量率在相對較低值與較高值之間變化。在圖 6a 中，曲線 602 描繪電漿功率曲線，其中在第一部分 604 期間施加一系列較低功率脈衝 608，隨後在第二部分 606 期

間施加一系列較高功率脈衝 610。在電漿接通時的功率位准，對較低功率脈衝 608 來說是 P3，對較高功率脈衝 610 來說是 P4。

在一些實施例中，可在大約一百微秒直到幾毫秒的脈衝持續時間中施加脈衝 608 和 610。在各種實施例中，部分 604 和/或 606 可延伸歷時許多毫秒直到許多秒，且可對應於例如圖 5a 或圖 5b 中描繪的一個或一個以上掃描的持續時間。因此，在單個部分 604 或 606 期間，可施加許多脈衝，例如數十個、數百個或數千個脈衝。因此，在單個部分 604 或 606 期間的離子劑量率可以在所述部分的持續時間中的平均離子劑量率來表徵。特定來說，所述離子劑量率可由曲線 640 表示，其中可算出一段時間中的平均離子劑量率以考慮電漿的“接通”和“斷開”時間。舉例來說，可計算一段脈衝時間的平均離子劑量率，此段脈衝時間等於脈衝的接通和斷開的持續時間的總和。因此，曲線 640 表示在一個或一個以上脈衝週期上的時間平均離子劑量率（通量）。

如圖 6b 和圖 6c 中描繪，同一平均離子劑量曲線 640 可得自不同的脈衝組合。在圖 6b 中，電漿功率曲線 612 的第一部分 604 對應於如圖 6a 的部分 604 表示的低離子劑量率暴露，其中針對一系列較低功率脈衝 608 在位准 P3 下施加功率。第二部分 616 對應於較高離子劑量率暴露，其是藉由以高於 P4 的電漿功率 P5 提供脈衝 620（每兩個脈衝有一個脈衝 630）而產生。脈衝 620 與可對應於功率

位准 P3 的較低功率脈衝 618 交錯。在功率位准 P3 和 P5 下的交替脈衝的組合可帶來與圖 6a 相同的平均離子劑量率 640b。在圖 6c 中，電漿功率曲線 622 的第一部分 604 與圖 6a 中一樣，其中針對一系列較低功率脈衝 608 在功率位准 P3 下施加功率。通過在高於 P4 和 P5 的功率 P6 下提供脈衝 630（每四個脈衝有一個脈衝 630）而帶來第二部分 626，同時在功率位准 P3 下提供另外三個較低功率脈衝 628。每四個脈衝提供一個功率位准 P6 的脈衝，並在 P3 下提供另外三個脈衝的組合可帶來與圖 6a 和圖 6b 相同的平均離子劑量率 640b。

在一些實施例中，相對較低離子劑量率處理可與用於基底的較高背側冷卻組合，而相對較高離子劑量率與相對較低背側冷卻組合。在一些實施例中，可通過控制冷卻線路 336 中的流體的類型或流體的流動速率來改變基底背側冷卻且進而改變基底溫度。然而，背側冷卻控制可由其它設備提供，例如已知的珀耳帖（Peltier）冷卻器（未圖示）。通過在較高離子劑量率暴露期間提供相對較少的背側冷卻且進而產生較高的基底溫度，可放大 CD 膨脹，因為在較高溫度下可能會發生較大的膨脹。

如先前所述，在一些實施例中，在較低離子劑量率暴露中的離子的第一角範圍可不同於較高離子劑量率下的離子的第二角範圍。

可例如通過在電腦可讀存儲媒體上有形地體現指令程序來使本文描述的方法自動化，所述電腦可讀存儲媒體

能夠由能夠執行所述指令的機器讀取。通用電腦是此機器的一個實例。此項技術中眾所周知的適當存儲媒體的非限制性的示範性列表包含例如可讀或可寫 CD、快閃存儲器晶片（例如，拇指型驅動器（thumb drive））、各種磁性存儲媒體和類似物的裝置。

總之，本發明提供用於減少經圖案化特徵（例如光阻凸紋特徵等）中的線粗糙度且同時獨立地控制此些特徵的所得 CD 的新穎且具發明性的方法和系統。

本發明不限於本文所述具體實施例的範圍。實際上，所屬領域的一般技術人員根據以上描述和附圖將瞭解（除本文所描述的那些實施例和修改外）本發明的其它各種實施例和對本發明的修改。舉例來說，雖然上文詳述的實施例是相對於光阻處理來描述，但其它實施例可涉及對例如電子束光阻、x 射線光阻或奈米壓印（nano-imprint）微影光阻等光阻的處理。

因此，此類其它實施例和修改既定屬於本發明的範圍內。此外，儘管已出於特定目的而在本文中在特定環境中的特定實施方案的情境中描述了本發明，但所屬領域的一般技術人員將認識到，本發明的效用不限於此，且可為了任何數目的用途在任何數目的環境中有利地實施本發明。因此，本發明的標的物（subject matter）應在如本文描述的本發明的完整寬度和精神的方面來解釋。

【圖式簡單說明】

圖 1a 到圖 1e 是說明常規微影製程的步驟的基底的示

為第 101114778 號中文說明書無劃線修正頁

修正日期:105年2月17日

意性橫截面。

圖 2a 是根據本發明一個實施例的基底處理系統的示意性描繪。

圖 2b 說明由本發明的實施例提供的基底上的入射微粒的示範性角分佈。

圖 3 描繪說明本發明的示範性特徵的電漿鞘修改器和光阻凸紋特徵的示意性橫截面。

圖 4a 到圖 4d 和圖 4e 到圖 4g 描繪經圖案化光阻凸紋特徵的側視橫截面圖和俯視平面圖，其描繪用於處理光阻凸紋特徵的示範性製程。

圖 5a 描繪示範性電漿功率曲線。

圖 5b 描繪另一示範性電漿功率曲線。

圖 6a 到圖 6c 描繪脈衝電漿處理的替代實施例，其中平均離子劑量率在相對較低值與較高值之間變化。

【主要元件符號說明】

112：基底

114：光阻

142：遮罩

10：光

114a、114b、504、516、604、606、616、626：部分

116：溝槽

300：系統

302：製程腔室

304：基底固持器

105年 02月 17日 修正替換頁

為第 101114778 號中文專利範圍無割線修正本

修正日期:105年2月17日

336：冷卻線
306：電漿
330：電源
332：天線
312：電漿鞘（plasma sheath）修改器
312a、312b：零件
322、y、z：間隙
242：電漿鞘
308：電漿鞘
308b：經修改殼層
310、312b、404、412：離子
114a、408、414：特徵
114a-1：側表面
114a-2：頂表面
320：方向
322：孔口
410：側壁
W1、W3：CD
502、512、602、612、622、640：曲線
P1、P2、P3、P4、P5：位準
608、610、620：脈衝
640b：離子劑量率

為第 101114778 號中文專利範圍無劃線修正本

修正日期:105 年 2 月 17 日

七、申請專利範圍：

1. 一種處理基底上的光阻凸紋特徵的方法，所述光阻凸紋特徵具有初始線粗糙度和初始臨界尺寸，所述方法包括：

在第一暴露中以第一角範圍且以第一離子劑量率朝向所述光阻凸紋特徵引導離子，所述第一離子劑量率用以將所述初始線粗糙度減小到第二線粗糙度；以及

在第二暴露中以大於所述第一離子劑量率的第二離子劑量率朝向所述光阻凸紋特徵引導離子，所述第二離子劑量率用以使所述光阻凸紋特徵膨脹並使所述光阻凸紋特徵平滑到第三線粗糙度，所述第三線粗糙度等於或小於所述第二線粗糙度。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述的處理基底上的光阻凸紋特徵的方法，其中在所述第一暴露之後，所述初始臨界尺寸減小到第二臨界尺寸，且其中在所述第二暴露之後，所述第二臨界尺寸增加到第三臨界尺寸。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述的處理基底上的光阻凸紋特徵的方法，其中在所述第一和第二暴露之後，所述光阻凸紋特徵具有大約等於所述初始臨界尺寸的第三臨界尺寸。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述的處理基底上的光阻凸紋特徵的方法，其中在所述第一和第二暴露之後，所述光阻凸紋特徵具有在所述初始臨界尺寸的預定容許限度內的第三臨界尺寸。

為第 101114778 號中文專利範圍無劃線修正本

修正日期:105年2月17日

5. 如申請專利範圍第 4 項所述的處理基底上的光阻凸紋特徵的方法，其中所述預定容許限度為所述初始臨界尺寸的 ± 5 奈米。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述的處理基底上的光阻凸紋特徵的方法，其進一步包括在所述第二暴露期間在第二角範圍上提供離子，所述第二角範圍不同於所述第一角範圍。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述的處理基底上的光阻凸紋特徵的方法，其進一步包括：

在所述第一暴露期間將具有所述光阻凸紋特徵的所述基底冷卻到第一溫度；以及

在所述第二暴露期間將所述基底冷卻到大於所述第一溫度的第二溫度。

8. 如申請專利範圍第 1 項所述的處理基底上的光阻凸紋特徵的方法，其中所述在所述第一暴露和所述第二暴露中引導所述離子的步驟包括：

產生電漿，所述電漿中具有電漿鞘和離子；

提供界定孔口的提取板，所述提取板用以修改界定於所述電漿與所述電漿鞘之間的邊界的形狀；以及

在含有所述光阻凸紋特徵的所述基底與所述電漿之間提供偏壓，所述偏壓用以跨越具有所述經修改形狀的所述邊界朝向所述光阻凸紋特徵吸引離子。

9. 如申請專利範圍第 8 項所述的處理基底上的光阻凸紋特徵的方法，其包括：

為第 101114778 號中文專利範圍無劃線修正本

修正日期:105年2月17日

以第一電漿功率位准執行所述第一暴露；以及

以第二較高電漿功率位准執行所述第二暴露。

10. 如申請專利範圍第 8 項所述的處理基底上的光阻凸紋特徵的方法，其包括：

在所述第一暴露期間相對於含有所述光阻凸紋特徵的所述基底執行所述提取板的一次或一次以上掃描，所述提取板用以在一角範圍上提供離子；以及

在所述第二暴露期間相對於所述基底執行所述提取板的一次或一次以上掃描。

11. 如申請專利範圍第 8 項所述的處理基底上的光阻凸紋特徵的方法，其包括：

在所述第一暴露期間在第一功率位准下提供所述電漿的第一組脈衝；以及

在所述第二暴露期間在第二功率位准下提供所述電漿的第二組脈衝，其中在所述第二暴露的持續時間中的平均電漿功率大於在第一暴露的持續時間中的平均電漿功率。

12. 如申請專利範圍第 11 項所述的處理基底上的光阻凸紋特徵的方法，其進一步包括在所述第二暴露期間提供第三組脈衝，其中所述第二組脈衝和第三組脈衝對應於不同的電漿功率位准。

13. 如申請專利範圍第 1 項所述的處理基底上的光阻凸紋特徵的方法，其中所述第一暴露在所述第二暴露之後發生。

14. 一種用於處理安置於基底上的光阻凸紋特徵的系統，其包括：

電漿源，用以產生具有電漿鞘的電漿；

提取板，其安置於所述電漿與所述基底之間，且用以在一角範圍上將離子引導到所述基底；以及

控制器，其用以改變所述基底對所述電漿的暴露條件，

其中，在第一暴露期間以第一離子劑量率和第一角展度朝向所述光阻凸紋特徵引導離子，使所述光阻凸紋特徵從初始臨界尺寸修整到第二臨界尺寸，且在第二暴露期間以大於所述第一離子劑量率的第二離子劑量率朝向所述光阻凸紋特徵引導離子，使所述光阻凸紋特徵從所述第二臨界尺寸修整到第三臨界尺寸，所述第一暴露將初始線粗糙度減小到第二線粗糙度，且所述第二暴露使所述光阻凸紋特徵膨脹以及平滑，其中在所述第一和第二暴露之後，所述光阻凸紋特徵的第三線粗糙度小於或等於所述第二線粗糙度，且所述第三臨界尺寸大於所述第二臨界尺寸。

15. 如申請專利範圍第 14 項所述的用於處理安置於基底上的光阻凸紋特徵的系統，其中所述第三臨界尺寸在所述初始臨界尺寸的預定容許限度內。

16. 一種處理具有初始線邊緣粗糙度和初始臨界尺寸的基底上的光阻凸紋特徵的方法，所述方法包括：

在第一暴露中以第一劑量率和第二角展度朝向所述光阻凸紋特徵引導離子，直到所述光阻凸紋特徵展現小於

為第 101114778 號中文專利範圍無劃線修正本

修正日期:105年2月17日

所述初始線粗糙度的第二線粗糙度為止，所述光阻凸紋特徵在所述第一暴露之後展現小於所述初始臨界尺寸的第二臨界尺寸；以及

在第二暴露中以大於所述第一劑量率的第二劑量率朝向所述光阻凸紋特徵引導離子直到所述光阻凸紋特徵膨脹到大於所述第二臨界尺寸的第三臨界尺寸為止以及使所述光阻凸紋特徵平滑到第三線粗糙度，所述第三線粗糙度等於或小於所述第二線粗糙度。

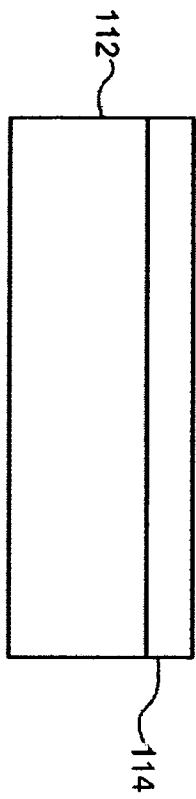


圖 1a

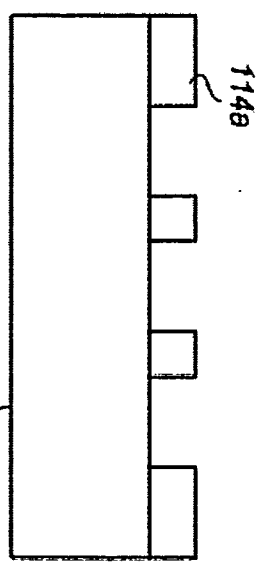


圖 1c

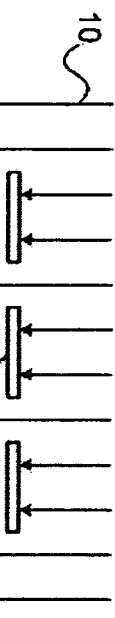


圖 1b

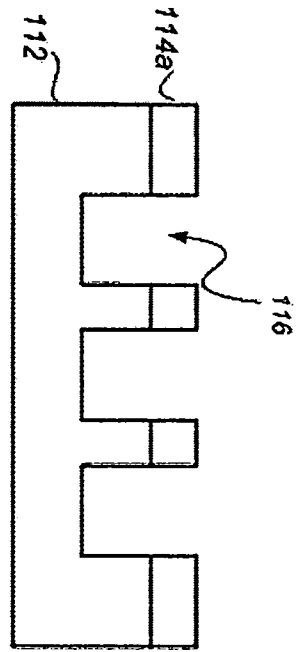


圖 1d

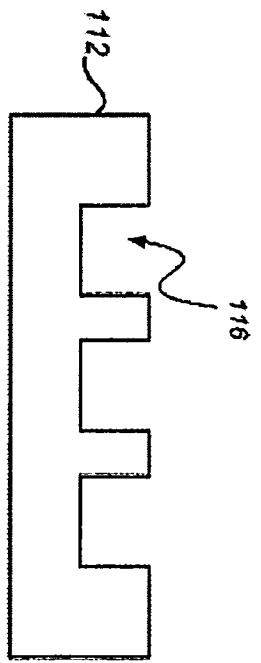


圖 1e

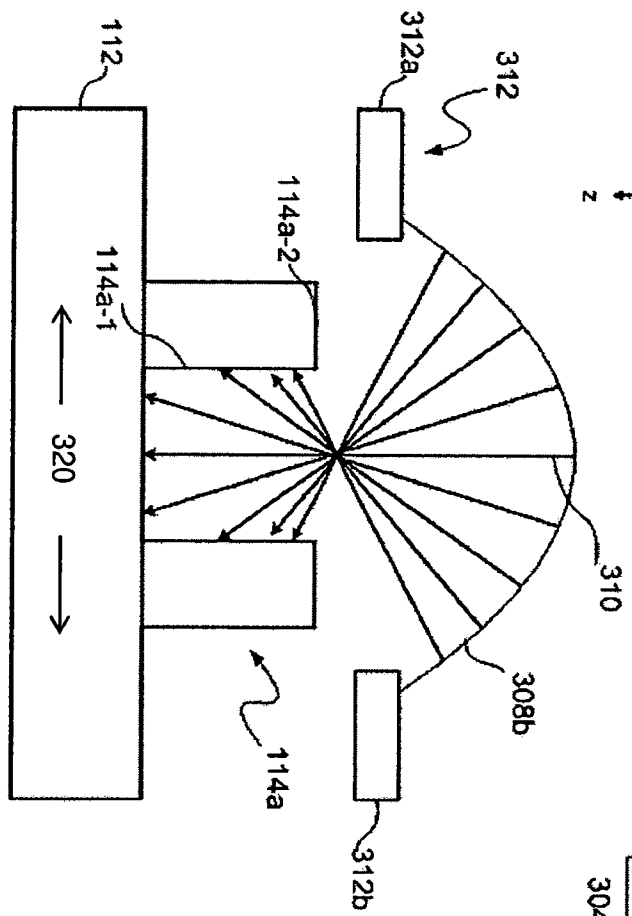
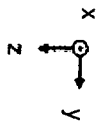


圖 3

圖 2a

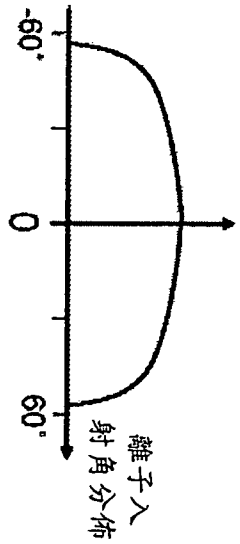
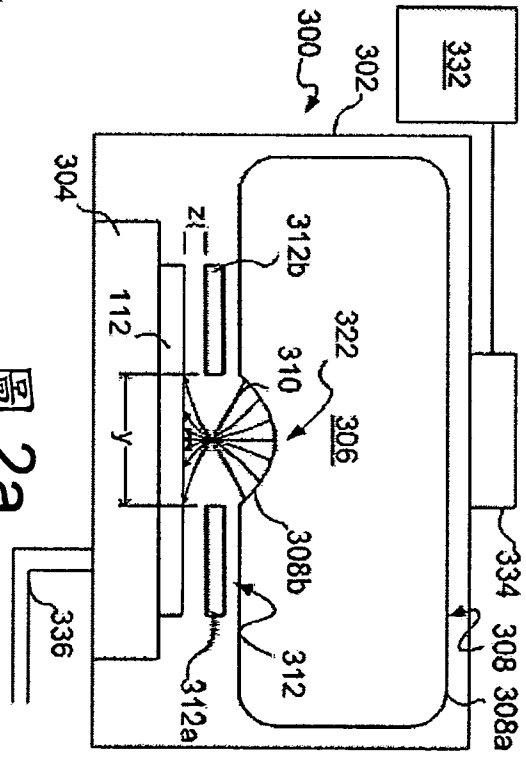
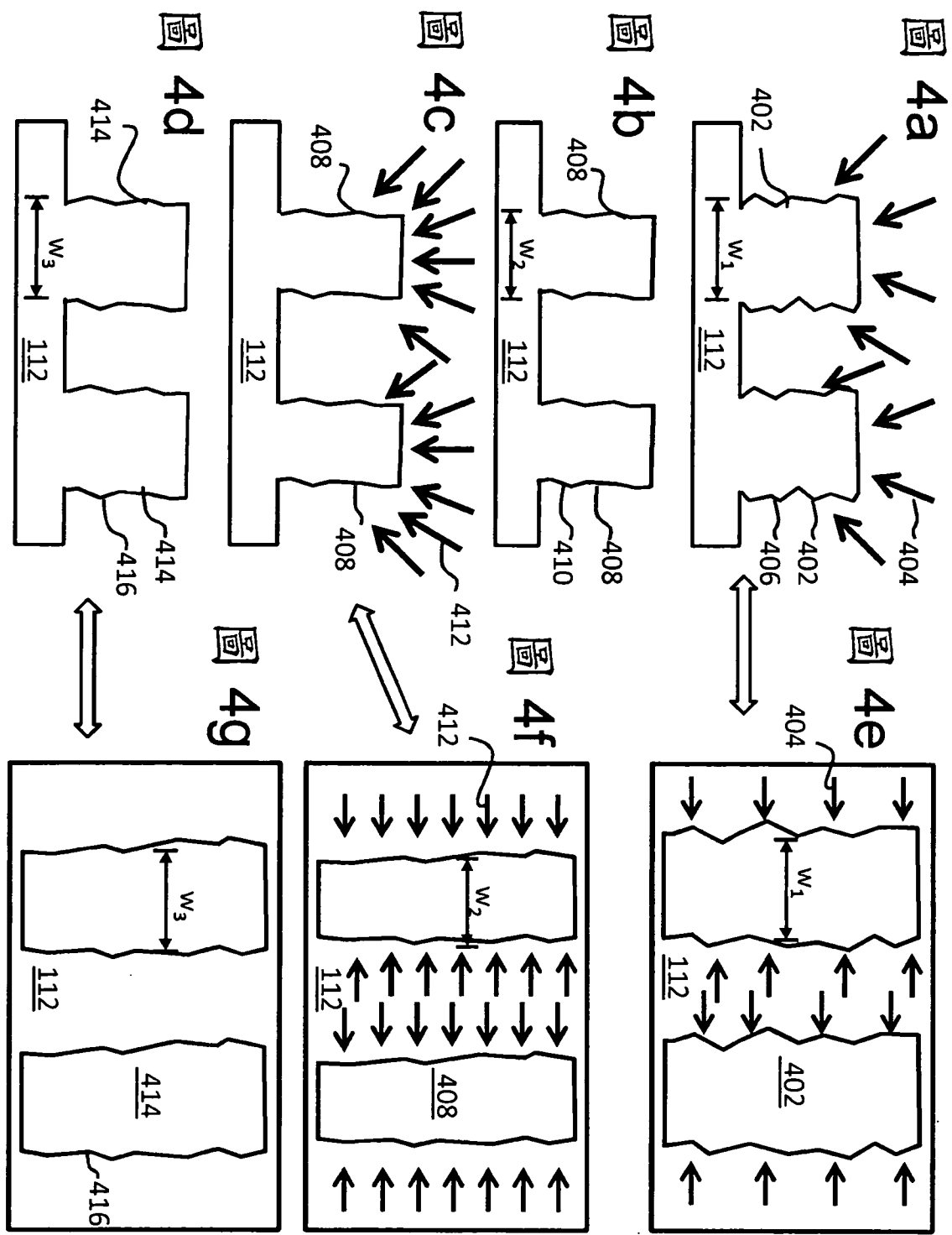


圖 2b



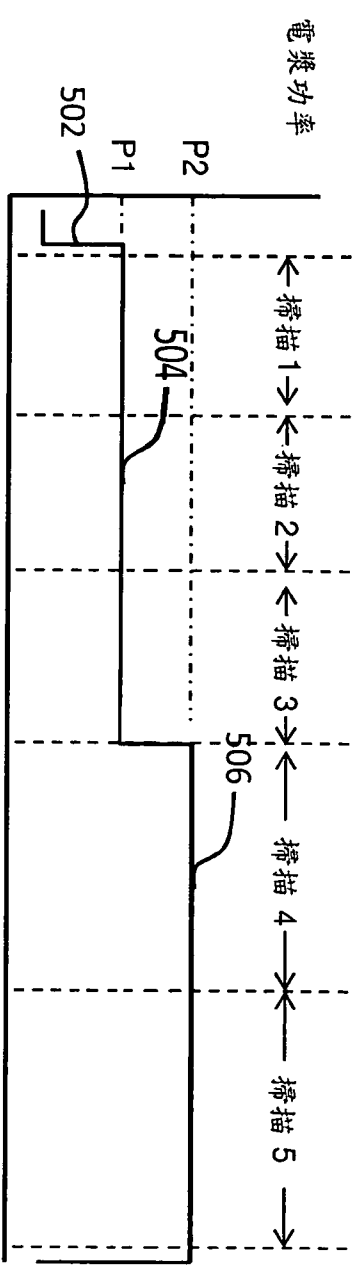


圖 5a

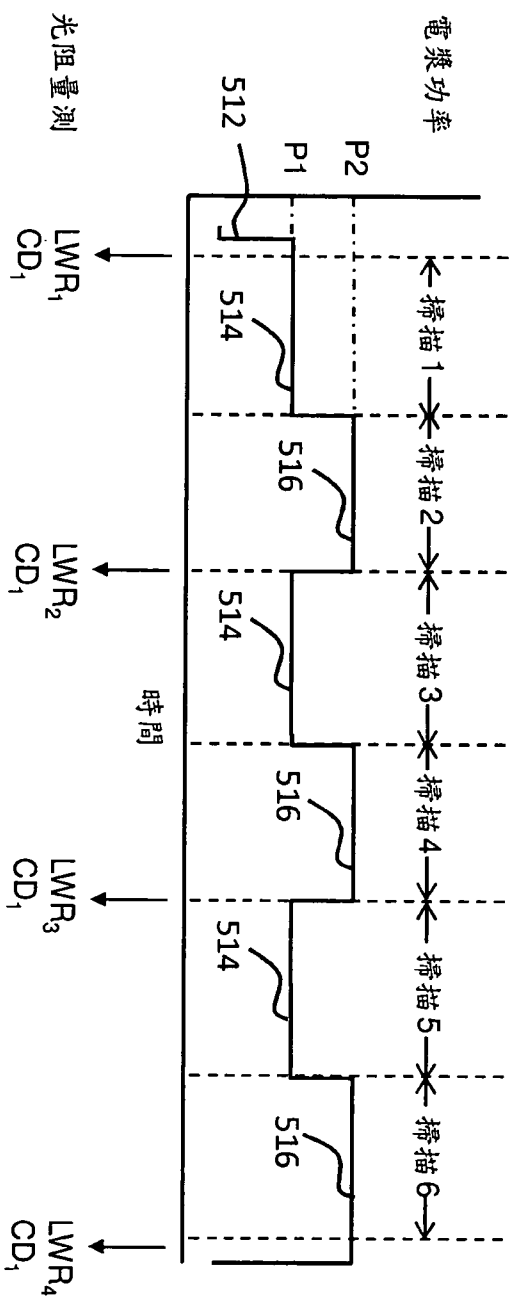


圖 5b

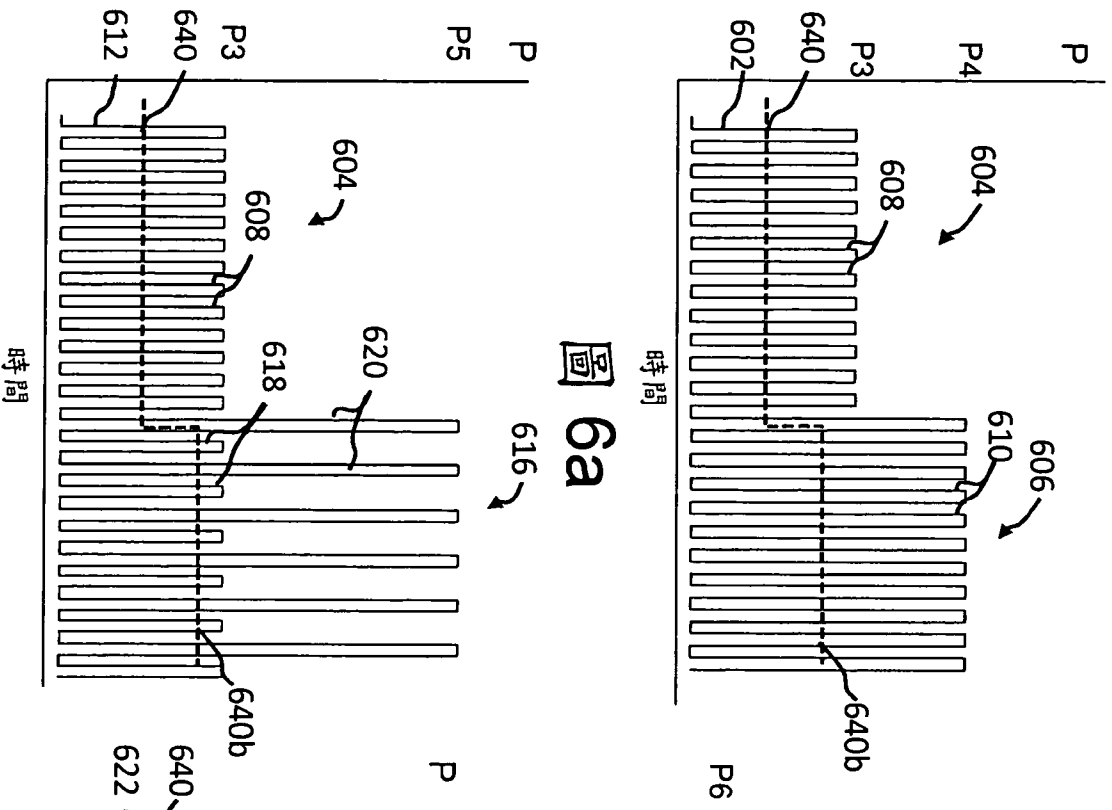


圖 6a

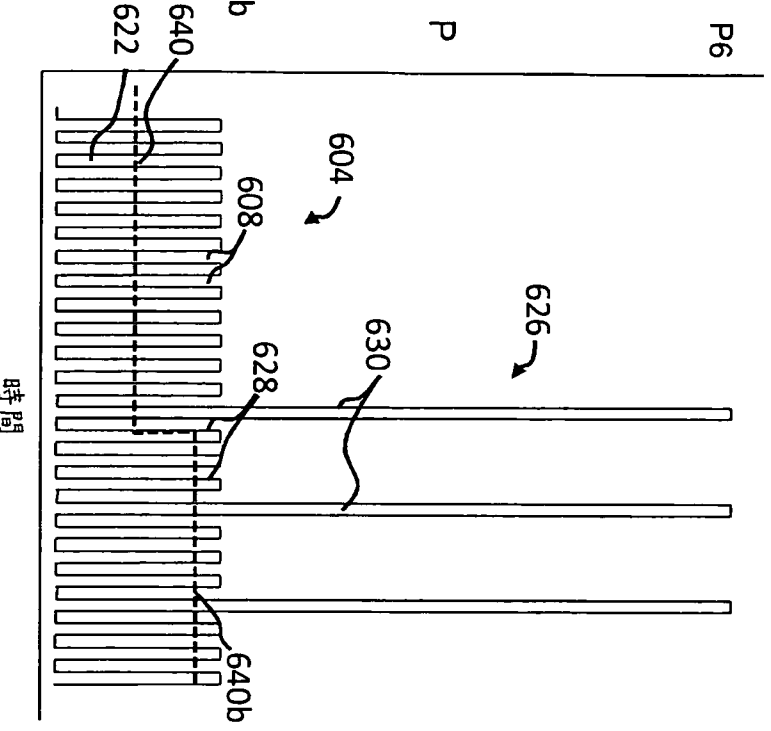


圖 6b

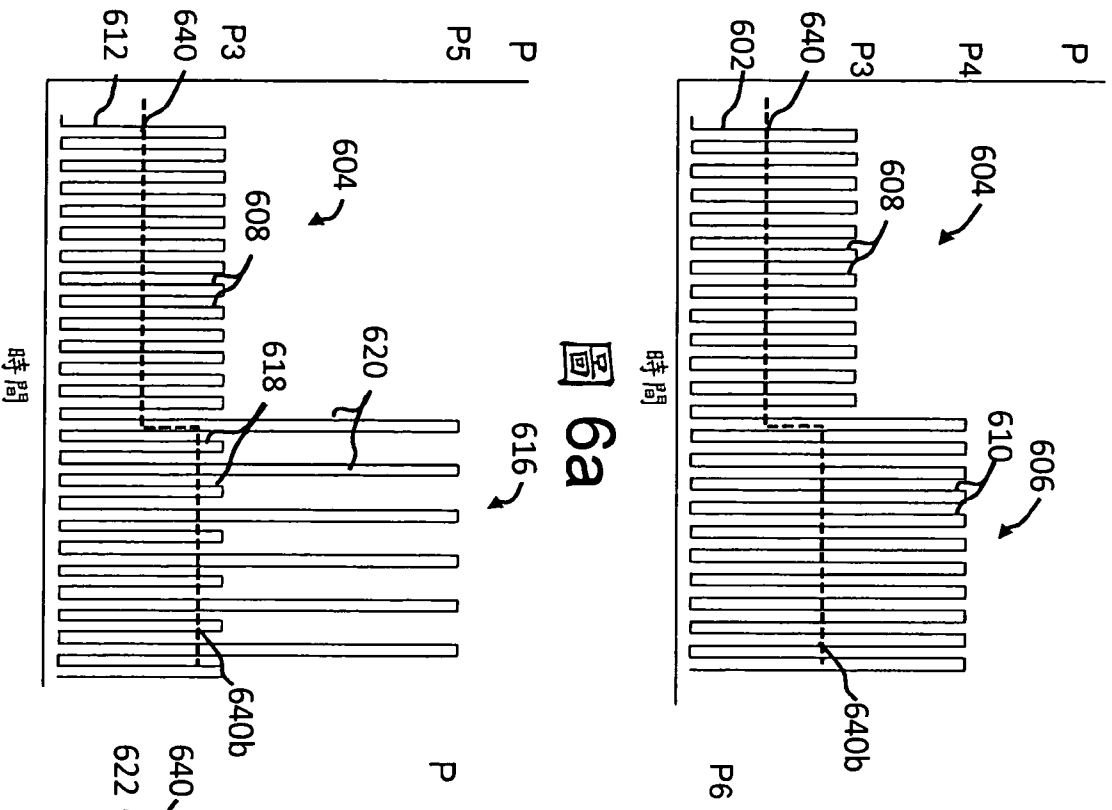


圖 6c